

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт Электронного обучения (ИнЭО)

Направление подготовки 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника

Кафедра Электроснабжение промышленных предприятий (ЭПП)

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Электроснабжение электротехнического завода г.Казань</b>

УДК 621.31.031: 621.3.002(470.41)

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<b>3-5a18</b>	<b>Ахмадулин Руслан Мансурович</b>		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<b>Доцент</b>	<b>Плотников Игорь Александрович</b>	<b>Кандидат технических наук, доцент</b>		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<b>Доцент</b>	<b>Коршунова Лидия Афанасьевна</b>	<b>Кандидат технических наук, доцент</b>		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<b>Доцент</b>	<b>Бородин Юрий Викторович</b>	<b>Кандидат технических наук, доцент</b>		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<b>Электроснабжение промышленных предприятий</b>	<b>Завьялов В.М.</b>	<b>д.т.н., доцент</b>		

Томск – 2016 г.

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
**федеральное государственное автономное образовательное**  
**учреждение высшего образования**  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ**  
**ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт Энергетический (ЭНИН)

Направление подготовки 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника

Кафедра Электроснабжение промышленных предприятий (ЭПП)

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой ЭПП

**Завьялов**

**В.М.**

(Подпись)

(Дата)

(Ф.И.О.)

### ЗАДАНИЕ

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

**бакалаврской работы**

Студенту:

Группа	ФИО
3-5A18	Ахмадулин Руслан Мансурович

Тема работы:

Электроснабжение электротехнического завода г. Казань

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

#### Исходные данные к работе

*(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).*

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	
<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>	

<p><b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b></p>	
--	--

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	3
1. Исходные данные.....	4
2. Электроснабжение цеха.....	6
2.1 Определение расчетной электрической нагрузки цеха.....	7
2.2 Выбор автоматических выключателей.....	21
2.3 Выбор сечений силовых линий.....	22
2.4 Потери напряжения.....	23
2.5 Расчет токов короткого замыкания до 1000В.....	29
2.6 Построение карты селективности действия аппаратов защиты.....	31
3. ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ЗАВОДА.....	32
3.1 Определение расчетной нагрузки предприятия в целом.....	32
3.2 Картограмма и определение центра электрических нагрузок.....	37
3.3 Выбор числа и мощности цеховых трансформаторов.....	39
3.4 Схема внешнего электроснабжения.....	41
3.5 Схема внутриводской сети 10 кВ.....	43
3.6 Расчет токов короткого замыкания в сети выше 1000 В.....	46
3.7 Выбор высоковольтных выключателей.....	48
Заключение.....	50

## **ВВЕДЕНИЕ**

В данной работе рассматривается электроснабжение Казанского электротехнического завода с детальной проработкой механического цеха.

Целью данной работы является закрепление пройденного теоретического материала по соответствующим дисциплинам и приобретение практического навыка проектирования электроснабжения промышленного предприятия.

Расчетная силовая нагрузка цеха определяется по методу упорядоченных диаграмм.

Производится распределение нагрузки по распределительным пунктам, расчет токов короткого замыкания от ТП до наиболее мощного электроприемника рассматриваемого цеха, выбор сечений и способов прокладки силовых линий и выбор автоматических выключателей.

Для цепочки линий от шин ГПП до наиболее мощного электроприемника рассматриваемого цеха производится расчет по условиям допустимой потери напряжения, которая для силовых сетей не должна превышать 5%. Строится карта селективности аппаратов защиты на данном участке.

Определение расчетной нагрузки предприятия производится методом коэффициента спроса.

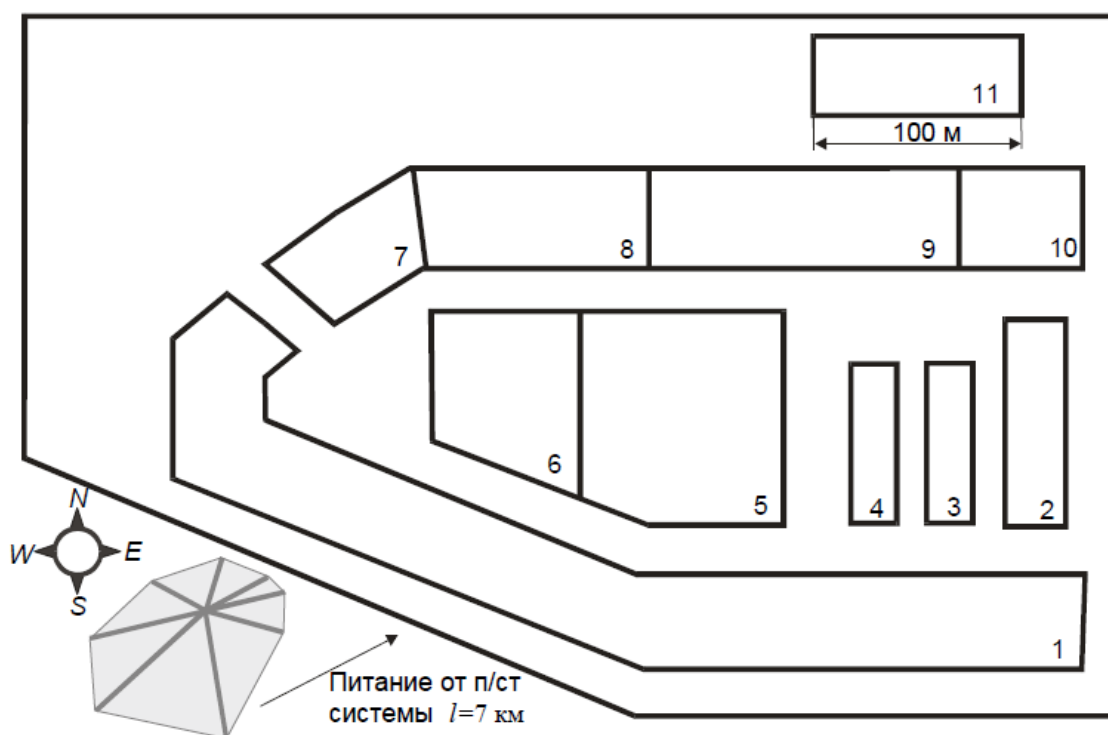
Определяется центр электрических нагрузок, количество и расположение цеховых ТП в зависимости от категории надежности электроснабжения, выбор трансформаторов и линий питающих ГПП.

Производится расчет токов короткого замыкания в сети выше 1000В и выбор автоматических выключателей и сечений и способа прокладки силовых линий.

# 1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

## Электротехнический завод

№	Наименование цеха	Число смен	Установленная мощность, кВт
1	Главный корпус	3	900
2	Заводоуправление	1	110
3	Механический	2	–
4	Инструментальный	2	400
5	Обмоточный	2	850
6	Лаборатория	2	140
7	Кузнечный	2	500
8	Штамповочный	2	1200
9	Сборочный	2	990
10	Литейный	2	900
11	Компрессорная 10 кВ СД 0,38 кВ	3	
		3	500
		3	60



## Механический цех



Рис. 1– План цеха

По заданному масштабу размер цеха 23 м на 80 м.

Таблица 1. – Сведения об электрических нагрузках

Номер на плане	Наименование электроприемника	Установленная мощность ЭП, кВт
1-3	Вертикально-фрезерный станок	9
4-5	Фрезерный станок с ЧПУ	22
6,7	Универсально-фрезерный станок	14
8-11	Токарно-револьверный станок	9
12,13	Токарно-винторезный станок	11
14-21	Настольно-сверлильный станок	4
22-24	Резьбонарезной полуавтомат	3
25,26	Заточной станок	7
27	Листозагибочная машина	14
28-31	Точильно-шлифовальный станок	11
32-34	Вертикально-сверлильный станок	6
35,36	Радиально-сверлильный станок	4
37,38	Универсально-заточной станок	8
39	Плоскошлифовальный станок	12
40,41	Полировальный станок	3
42	Сварочная машина	9
43-48	Сварочная кабина	5
49,50	Вентиляторы	16

## ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ЦЕХА

### Определение расчетной электрической нагрузки цеха

#### Примеры расчетов:

а) Электрическое освещение:

Площадь цеха:  $F = 23 \cdot 80 = 1840 \text{ м}^2$

Коэффициент спроса осветительной нагрузки принимаем:  $k_c = 0.95$

Удельная мощность осветительной нагрузки:  $P_{уд.о} = 14 \text{ Вт/м}^2$

Тогда:

$P_{н.о} = k_c \cdot P_{уд.о} \cdot F = 0.95 \cdot 14 \cdot 1840 = 24,47 \text{ кВт}$ , принимаем  $\cos \varphi_{р.о.} = 1$ ,

$Q_{р.о} = 0 \text{ кВар}$

б) Эффективное число электроприемников

Вертикально-фрезерный станок

Количество 3 шт.

Мощность электроприемника  $P_H = 3 \cdot 9 = 27 \text{ кВт}$ ;

Коэффициент использования:  $K_{и} = 0.14$ ;

Определяем  $\tan \varphi$ :  $\cos \varphi = 0.5 \rightarrow \tan \varphi = 1.73$ :

$P_{см} = P_H \cdot K_{и} = 27 \cdot 0.14 = 3.78 \text{ кВт}$ ;

$Q_{см} = P_{см} \cdot \tan \varphi = 3.78 \cdot 1.73 = 6.54 \text{ кВар}$ ;

Группа А:  $n_{Э} = 40$ , т.к. число электроприемников с мощностью равной или большей мощности самого мощного электроприемника = 12, а суммарная мощность этих электроприемников = 164 кВт. Общее количество электроприемников = 48, а их суммарная мощность равна 369 кВт.

$12/48 = 0.25$ ,  $164/369 = 0.44$ . По этим значениям по таблице 2.7[3] находим относительное значение эффективного числа электроприемников, а по нему по таблице 2.6[3] коэффициент максимума  $k_M = 1.31$

Суммарное значение  $P_{см}$  по группе А = 68,33 кВт

$P_M = P_{см} \cdot k_M = 68,33 \cdot 1,31 = 89,51 \text{ кВт}$



в) Расчетную суммарную нагрузку по цеху :  $S_M = \sqrt{P^2 + Q^2} =$

$$\sqrt{137,98^2 + 128,31^2} = 188,42 \text{ кВА}; \text{ расчетный ток: } I_p = \frac{S_M}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{188,42}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 286,61 \text{ А}$$

№	Количество ЭП n	Наименование узлов Питания и групп Электроприемников	Установленная мощность приведенная к ПВ=100%		m=Рн.макс/Рн.мин	Коэффициент использования, Ки	cosφ / tgφ	Средняя нагрузка за максимально загруженную смену		Эффективное число ЭП, пэ	Коэффициент максимума Км	Максимальная нагрузка			Расчетные токи Iм / Iп
			Одного ЭП (наименьшего, наибольшего) Рн, кВт	Общая Рн, кВт				Рсм = Ки Рн	Qсм = Рсм tgφ			Рм Км Рсм, кВт	Qм = Qсм при пэ > 10 Qм = 1,1 Qсм при пэ < 10	Sm = √(Рм + Qм), кВа	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		Приемники группы А													
1-3	3	Вертикально-фрезерный станок	9	27		0.14	0,5/1.73	3.78	6.54						
4,5	2	Фрезерный станок с ЧПУ	22	44		0.17	0,7/1.17	7.48	8.75						
6,7	2	Универсально-фрезерный станок	14	28		0.14	0,5/1.73	3.92	6.78						
8-11	4	Токарно-револьверный станок	9	36		0.17	0,65/1.17	6.12	7.16						
12,13	2	Токарно-винторезный станок	11	22		0.17	0,65/1.17	3.74	4.38						
14-21	8	Настольный сверлильный станок	4	32		0,14	0,5/1.73	4.48	7.75						
22-24	3	Резьбонарезной полуавтомат	3	9		0.17	0,65/1.17	1.53	1.79						
25,26	2	Заточной станок	7	14		0.14	0,5/1.73	1.96	3.39						
27	1	Листозагибочная машина	14	14		0.24	0,65/1.17	3.36	3.93						
28-31	4	Точильно-шлифовальный станок	11	44		0.14	0,5/1.73	6.16	10.66						
32-34	3	Вертикально-сверлильный станок	6	18		0.14	0,5/1.73	2.52	4.36						
35,36	2	Радиально-сверлильный станок	4	8		0.14	0,5/1.73	1.12	1.94						
37,38	2	Универсально-заточный станок	8	16		0.14	0,5/1.73	2.24	3.87						
39	1	Плоскошлифовальный станок	12	12		0.14	0,5/1.73	1.68	2.9						

№	Количество ЭП п	Наименование узлов Питания и групп Электроприемников	Установленная мощность приведенная к ПВ=100%		$m = P_{н. макс} / P_{н. мин}$	Коэффициент использования, Ки	$\cos \varphi / \tan \varphi$	Средняя нагрузка за максимально загруженную смену		Эффективное число ЭП, пэ	Коэффициент максимума Км	Максимальная нагрузка			Расчетные токи $I_m / I_n$
			Одного ЭП (наименьшего, наибольшего) $P_n$ , кВт	Общая $P_n$ , кВт				$P_{см} = K_{и} P_n$	$Q_{см} = P_{см} \tan \varphi$			$P_m$ Км $P_{см}$ , кВт	$Q_m = Q_{см}$ при $p \geq 10$ $Q_m = 1,1 Q_{см}$ при $p < 10$	$S_m = \sqrt{P_m^2 + Q_m^2}$ , кВа	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
40,41	2	Полировальный станок	3	6		0.14	0,5/1.73	0.84	1.45						
42	1	Сварочная машина	9	9		0.35	0,6/1.33	5.4	7.18						
43-48	6	Сварочная кабина	5	30		0.25	0,4/2.29	12	27.48						
	48	<b>Итого по группе А</b>	<b>3-22</b>	<b>369</b>	<b>m &gt; 3</b>	<b>0,18</b>	-	<b>68,33</b>	<b>110,31</b>	<b>40</b>	<b>1,31</b>	<b>89,51</b>	<b>110,31</b>		
		<i>Приемники группы Б</i>													
49,50	2	Вентиляторы	16	32		0.75	0,8/0.75	24	18						
	2	<b>Итого по группе Б</b>	<b>16</b>	<b>32</b>	-	-	-	<b>24</b>	<b>18</b>	-	<b>1</b>	<b>24</b>	<b>18</b>		
	<b>50</b>	<b>Итого силовая нагрузка по цеху (гр. А и Б)</b>	<b>3-22</b>	<b>401</b>	-	-	-	<b>92.33</b>	<b>128,31</b>	-	-	<b>113,51</b>	<b>128,31</b>		
	-	Электрическое освещение	-	25.76	-	$k_c=0.9$ 5	-	24.47	-	-	-	24.47	-		
	-	<b>Итого по цеху</b>	-	<b>426,76</b>	-	-	-	<b>116,8</b>	<b>128,31</b>	-	-	<b>137,98</b>	<b>128,31</b>	<b>188,42</b>	<b>286,61</b>

№	Количество ЭП n	Наименование узлов Питания и групп Электроприемников	Установленная мощность приведенная к ПВ=100%		m=P <sub>н.макс</sub> /P <sub>н.мин</sub>	Коэффициент использования, Ки	cosφ / tgφ	Средняя нагрузка за максимально загруженную смену		Эффективное число ЭП, пэ	Коэффициент максимума Км	Максимальная нагрузка			Расчетные токи I <sub>м</sub> / I <sub>п</sub>
			Одного ЭП (наименьшего, наибольшего) P <sub>н</sub> , кВт	Общая P <sub>н</sub> , кВт				P <sub>см</sub> =Ки P <sub>н</sub>	Q <sub>см</sub> =P <sub>см</sub> tgφ			P <sub>м</sub> Км P <sub>см</sub> , кВт	Q <sub>м</sub> =Q <sub>см</sub> при пэ>10 Q <sub>м</sub> =1,1Q <sub>см</sub> при пэ<10	S <sub>м</sub> =√P <sub>м</sub> +Q <sub>м</sub> , кВа	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		Пункт распределительный 1													
		Приемники группы А													
1-3	3	Вертикально-фрезерный станок	9	27		0.14	0,5/1.73	3.78	6.54						
12,13	2	Токарно-винторезный станок	11	22		0.17	0,65/1.17	3.74	4.38						
	5	Итого группе А	9-11	49	m <3	0.15	—	7.52	10.92	5	2,87	20,9	12		
		Приемники группы Б													
49,50	2	Вентиляторы	16	32	—	0.75	0,8/0.75	24	18	—	1.0	24	18		
	2	Итого по группе Б	16	32	—	0.75	0,8/0.75	24	18	—	1.0	24	18		
	7	Итого по ПР1	9-16	71	—	—	—	31.52	28.92	—	—	44.9	30	54	82.14
		Пункт распределительный 2													
		Приемники группы А													
37,38	2	Универсально-заточный станок	8	16		0.14	0,5/1.73	2.24	3.87						
39	1	Плоскошлифовальный станок	12	12		0.14	0,5/1.73	1.68	2.9						
40,41	2	Полировальный станок	3	6		0.14	0,5/1.73	0.84	1.45						
	5	Итого по ПР2	3-12	34	m> 3	0.14	—	4.76	8.22	4	3.17	15.09	9.05	18.3	27,84

№	Количество ЭП n	Наименование узлов Питания и групп Электроприемников	Установленная мощность приведенная к ПВ=100%		$m = P_{н. макс} / P_{н. мин}$	Коэффициент использования, Ки	$\cos \varphi / \tan \varphi$	Средняя нагрузка за максимально загруженную смену		Эффективное число ЭП, пэ	Коэффициент максимума Км	Максимальная нагрузка			Расчетные токи $I_m / I_n$
			Одного ЭП (наименьшего, наибольшего) $P_n$ , кВт	Общая $P_n$ , кВт				$P_{см} = K_i P_n$	$Q_{см} = P_{см} \tan \varphi$			$P_m$ Км $P_{см}$ , кВт	$Q_m = Q_{см}$ при $p \geq 10$ $Q_m = 1,1 Q_{см}$ при $p < 10$	$S_m = \sqrt{P_m^2 + Q_m^2}$ , кВа	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		Пункт распределительный 3													
		Приемники группы А													
4,5	2	Фрезерный станок с ЧПУ	22	44		0.17	0,7/1.17	7.48	8.75						
6,7	2	Универсально-фрезерный станок	14	28		0.14	0,5/1.73	3.92	6.78						
8-11	4	Токарно-револьверный станок	9	36		0.17	0,65/1.17	6.12	7.16						
	8	Итого по ПР3	9-22	108	$m < 3$	0.16	—	17.52	22.69	7	2.4	42	25	48.9	74.38
		Пункт распределительный 4													
		Приемники группы А													
14-21	8	Настольный сверлильный станок	4	32		0,14	0,5/1.73	4.48	7.75						
32-34	3	Вертикально-сверлильный станок	6	18		0.14	0,5/1.73	2.52	4.36						
	11	Итого по ПР4	4-6	50	$m < 3$	0.14	—	7	12.11	11	2.1	14.7	12.11	19	28.9
		Пункт распределительный 5													
		Приемники группы А													
22-24	3	Резьбонарезной полуавтомат	3	9		0.17	0,65/1.17	1.53	1.79						
25,26	2	Заточной станок	7	14		0.14	0,5/1.73	1.96	3.39						
27	1	Листозагибочная машина	14	14		0.24	0,65/1.17	3.36	3.93						
	6	Итого по ПР5	3-14	37	$m > 3$	0.18	—	6.85	9.11	6	2.4	16.44	10.02	19.25	29.28

№	Количество ЭП n	Наименование узлов Питания и групп Электроприемников	Установленная мощность приведенная к ПВ=100%		m=Рн.макс/Рн.мин	Коэффициент использования, Ки	cosφ / tgφ	Средняя нагрузка за максимально загруженную смену		Эффективное число ЭП, пэ	Коэффициент максимума Км	Максимальная нагрузка			Расчетные токи Im / In
			Одного ЭП (наименьшего, наибольшего) Рн, кВт	Общая Рн, кВт				Рм Км Рсм , кВт	Qм =Qсм при пэ>10 Qм =1,1Qсм при пэ<10			Sм =√Рм +Qм , кВа			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
		Пункт распределительный 6													
		Приемники группы А													
28-31	4	Точильно-шлифовальный станок	11	44		0.14	0,5/1.73	6.16	10.66						
35,36	2	Радиально-сверлильный станок	4	8		0.14	0,5/1.73	1.12	1.94						
	6	Итого по ПР6	4-11	52	m <3	0.14	—	7.28	12.6	5	2.94	21.4	13.86	25.5	38.8
		Пункт распределительный 7													
		Приемники группы А													
42	1	Сварочная машина	9	9		0.35	0,6/1.33	5.4	7.18						
43-48	6	Сварочная кабина	5	30		0.25	0,4/2.29	12	27.48						
	7	Итого по ПР7	5-9	39	m <3	0.44	—	17.4	34.66	3	1.95	33.93	38.12	51	77,58

№ п/п	Назначение линии питающей сети	Расчетная нагрузка, кВА	Расчетный ток, А	Автоматический выключатель	Номинальный ток, А	Способ прокладки	Марка кабеля	Сечение, по нагреву, мм <sup>2</sup>	Допустимый длительный ток, А	Сечение, выбранное по условиям допустимой потери напряжения	Потеря напряжения, %	Принятое сечение и марка участка питающей сети
1	КТП-ПР	188,4 2	286,6 1	BA5239	320	в траншее	АСБ	4x185	314	4x185	0.39	АСБ 4x185
2	ПР-ПР1	54	82.14	BA 5735	100	в лотке на кронштейне	АВВГ	4x50	105	4x50	0.176	АВВГ4x50
3	ПР-ПР2	18.3	27.84	BA 5735	40	в лотке на кронштейне	АВВГ	4x10	38	4x10	0,65	АВВГ4x10
4	ПР-ПР3	48.9	74.38	BA 5735	80	в лотке на кронштейне	АВВГ	4x35	75	4x35		АВВГ4x35
5	ПР-ПР4	19	28.9	BA 5735	31,5	в лотке на кронштейне	АВВГ	4x10	38	4x10	0,453	АВВГ4x10
6	ПР-ПР5	19.25	29.28	BA 5735	31,5	в лотке на кронштейне	АВВГ	4x10	38	4x10	0,675	АВВГ4x10
7	ПР-ПР6	25.5	38,8	BA 5735	40	в лотке на кронштейне	АВВГ	4x16	55	4x16	0,99	АВВГ4x16
8	ПР-ПР7	51	77,58	BA 5735	80	в лотке на кронштейне	АВВГ	4x50	105	4x70	2.8	АВВГ4x70
Вводной автомат ПР BA5239 320 А												

№ линии отходящей от ПР1	Защитный аппарат		Проводка			Приемник		
	Тип	Ином	Марка, сечение, мм <sup>2</sup>	Способ прокладки	Длина,м	№ по плану цеха	Наименование производственного механизма	Номинальная мощность, кВт
1	BA5735	31.5	АВВГ 4х10	В лотке	5	1	Вертикально-фрезерный станок	9
2	BA5735	31.5	АВВГ 4х10	В лотке	3	2	Вертикально-фрезерный станок	9
3	BA5735	31.5	АВВГ 4х10	В лотке	2	3	Вертикально-фрезерный станок	9
4	BA5735	31.5	АВВГ 4х10	В лотке	7	12	Токарно-винторезный станок	11
5	BA5735	31.5	АВВГ 4х10	В лотке	8	13	Токарно-винторезный станок	11
6	BA5735	31.5	АВВГ 4х10	В лотке	7	49	Вентилятор	16
7	BA5735	31.5	АВВГ 4х10	В лотке	7	50	Вентилятор	16
Вводной автомат ВА 5735 I <sub>н</sub> 100А								



№ линии отходящей от ПР2	Защитный аппарат		Проводка			Приемник		
	Тип	Ином	Марка, сечение, мм <sup>2</sup>	Способ прокладки	Длина,м	№ по плану цеха	Наименование производственного механизма	Номинальная мощность, кВт
1	BA5735	31.5	ABBG 4x10	В лотке	4	37	Универсально-заточной станок	8
2	BA5735	31.5	ABBG 4x10	В лотке	3	38	Универсально-заточной станок	8
3	BA5735	40	ABBG 4x10	В лотке	3	39	Плоскошлифовальный станок	12
4	BA5735	16	ABBG 4x2,5	В лотке	3	40	Полировальный станок	3
5	BA5735	16	ABBG 4x2,5	В лотке	4	41	Полировальный станок	3
Вводной автомат BA5735 I <sub>н</sub> 40А								

№ линии отходящей от ПРЗ	Защитный аппарат		Проводка			Приемник		
	Тип	Ином	Марка, сечение, мм <sup>2</sup>	Способ прокладки	Длина,м	№ по плану цеха	Наименование производственного механизма	Номинальная мощность, кВт
1	BA5735	50	ABBG 4x16	В лотке	9	4	Фрезерный станок с ЧПУ	22
2	BA5735	50	ABBG 4x16	В лотке	5	5	Фрезерный станок с ЧПУ	22
3	BA5735	50	ABBG 4x10	В лотке	8	6	Универсально фрезерный станок	14
4	BA5735	50	ABBG 4x10	В лотке	2	7	Универсально фрезерный станок	14
5	BA5735	25	ABBG 4x10	В лотке	8	8	Токарно-револьверный станок	9
6	BA5735	25	ABBG 4x10	В лотке	9	9	Токарно-револьверный станок	9
7	BA5735	25	ABBG 4x10	В лотке	11	10	Токарно-револьверный станок	9
8	BA5735	25	ABBG 4x10	В лотке	12	11	Токарно-револьверный станок	9
Вводной автомат BA5735 I <sub>n</sub> 80A								

№ линии отходящей от ПР4	Защитный аппарат		Проводка			Приемник		
	Тип	Ином	Марка, сечение, мм <sup>2</sup>	Способ прокладки	Длина,м	№ по плану цеха	Наименование производственного механизма	Номинальн ая мощность, кВт
1	BA5735	16	ABBG 4x2,5	В полу	3	14	Настольный сверлильный станок	4
2	BA5735	16	ABBG 4x2,5	В лотке	3	15	Настольный сверлильный станок	4
3	BA5735	16	ABBG 4x2,5	В лотке	3	16	Настольный сверлильный станок	4
4	BA5735	16	ABBG 4x2,5	В лотке	3	17	Настольный сверлильный станок	4
5	BA5735	16	ABBG 4x2,5	В лотке	3	18	Настольный сверлильный станок	4
6	BA5735	16	ABBG 4x2,5	В лотке	3	19	Настольный сверлильный станок	4
7	BA5735	16	ABBG 4x2,5	В лотке	4	20	Настольный сверлильный станок	4
8	BA5735	16	ABBG 4x2,5	В лотке	4	21	Настольный сверлильный станок	4
9	BA5735	20	ABBG 4x4	В лотке	6	32	Вертикально-сверлильный станок	6
10	BA5735	20	ABBG 4x4	В лотке	5	33	Вертикально-сверлильный станок	6
11	BA5735	20	ABBG 4x4	В лотке	6	34	Вертикально-сверлильный станок	6
Вводной автомат BA5735 I <sub>н</sub> 31,5А								

№ линии отходящей от ПР5	Защитный аппарат		Проводка			Приемник		
	Тип	Ином	Марка, сечение, мм <sup>2</sup>	Способ прокладки	Длина,м	№ по плану цеха	Наименование производственного механизма	Номинальная мощность, кВт
1	BA5735	16	ABBG 4x2,5	В лотке	3	22	Резьбонарезной полуавтомат	3
2	BA5735	16	ABBG 4x2,5	В лотке	3	23	Резьбонарезной полуавтомат	3
3	BA5735	16	ABBG 4x2,5	В лотке	3	24	Резьбонарезной полуавтомат	3
4	BA5735	25	ABBG 4x10	В лотке	3	25	Заточной станок	7
5	BA5735	25	ABBG 4x10	В лотке	3	26	Заточной станок	7
6	BA5735	31,5	ABBG 4x10	В лотке	3	27	Листозагибочная машина	14
Вводной автомат BA5735 I <sub>н</sub> 31,5А								

№ линии отходящей от ПР6	Защитный аппарат		Проводка			Приемник		
	Тип	Ином	Марка, сечение, мм <sup>2</sup>	Способ прокладки	Длина,м	№ по плану цеха	Наименование производственного механизма	Номиналь ная мощность, кВт
1	BA5735	25	ABBG 4x10	В лотке	4	28	Точильно-шлифовальный станок	11
2	BA5735	25	ABBG 4x10	В лотке	3	29	Точильно-шлифовальный станок	11
3	BA5735	25	ABBG 4x10	В лотке	1	30	Точильно-шлифовальный станок	11
4	BA5735	25	ABBG 4x10	В лотке	4	31	Точильно-шлифовальный станок	11
5	BA5735	40	ABBG 4x10	В лотке	3	35	Радиально-сверлильный станок	4
6	BA5735	40	ABBG 4x10	В лотке	1	36	Радиально-сверлильный станок	4
Вводной автомат BA5735 I <sub>н</sub> 40А								

№ линии отходящей от ГР7	Защитный аппарат		Проводка			Приемник		
	Тип	Ином	Марка, сечение, мм <sup>2</sup>	Способ прокладки	Длина,м	№ по плану цеха	Наименование производственного механизма	Номинальная мощность, кВт
1	BA5735	25	ABBG 4x10	В лотке	3	42	Сварочная машина	9
2	BA5735	20	ABBG 4x4	В лотке	4	43	Сварочная кабина	5
3	BA5735	20	ABBG 4x4	В лотке	3	44	Сварочная кабина	5
4	BA5735	20	ABBG 4x4	В лотке	3	45	Сварочная кабина	5
5	BA5735	20	ABBG 4x4	В лотке	3	46	Сварочная кабина	5
6	BA5735	20	ABBG 4x4	В лотке	2	47	Сварочная кабина	5
7	BA5735	20	ABBG 4x4	В лотке	3	48	Сварочная кабина	5
Вводной автомат BA5735 I <sub>н</sub> 80А								

## 2.2 Выбор автоматических выключателей

При выборе автоматического выключателя должны соблюдаться 3 условия:

1.  $I_{\text{ном.а}} \geq I_{\text{длит}}$
2.  $I_{\text{ном.расц.т}} \geq I_{\text{длит}}$
3.  $I_{\text{ср.расц.э}} \geq 1.25I_{\text{пик}}$  – для группы ЭП  
 $I_{\text{ср.расц.э}} \geq 1.5I_{\text{пуск}}$  – для отдельного ЭП

На примере фрезерного станка с ЧПУ:

$$I_{\text{ном}} = \frac{22}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,7} = 47,8 \text{ A}$$

$$I_{\text{пуск}} = \frac{5 \cdot 22}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,7} = 239 \text{ A}$$

1.  $I_{\text{ном.а}} \geq 47,8 \text{ A}$
2.  $I_{\text{ном.расц.т}} \geq 47,8 \text{ A}$
3.  $I_{\text{ср.расц.э}} \geq 239 \text{ A}$

Принимаем автоматический выключатель ВА5735  $I_{\text{ном.а}}=50 \text{ A}$ ,  $I_{\text{ср.расц.э}}=250 \text{ A}$

## 2.3 Выбор сечений силовых линий :

Сечения силовых линий выбираются:

-по допустимому нагреву длительно протекающим максимальным током

нагрузки  $I_{\text{доп}} \cdot K_{n1} \cdot K_{n2} \geq I_{\text{дл}}$ ,

где  $K_{n1}, K_{n2}$  – поправочные коэффициенты, учитывающие фактическую температуру окружающей среды и количество совместно проложенных линий.

-по потере напряжения

-по условию соответствия выбранному аппарату защиты.

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{I_z \cdot K_z}{K_{\text{прокл}}}$$

$I_z$  – номинальный ток защитного аппарата

$K_z$  – коэффициент защиты (отношение длительно допустимого тока для провода или кабеля к номинальному току защитного аппарата)

На примере фрезерного станка с ЧПУ:

$$I_{\text{ном}} = \frac{22}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,7} = 47,8 \text{ A}$$

$$I_{\text{пуск}} = \frac{5 \cdot 22}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,7} = 239 \text{ A}$$

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{I_{\text{дл}}}{K_{n1} \cdot K_{n2}} = \frac{50}{1 \cdot 0,94} = 53,1 \text{ A}$$

Кабель АВВГ 4х16 удовлетворяет этим условиям.



## 2.4 Потери напряжения:

Расчет максимального режима:

$$\Delta U = \frac{P \cdot r_0 \cdot l + Q \cdot x_0 \cdot l}{10 \cdot U_n^2}$$

Падение напряжения в трансформаторе:

$$\Delta U_m = \beta_m \cdot (U_a \cos \varphi + U_p \sin \varphi) + \frac{\beta_m^2}{200} \cdot (U_a \sin \varphi - U_p \cos \varphi)^2$$

$$U_a = \frac{\Delta P_{кз}}{S_{нт}} \cdot 100 - \text{активная составляющая напряжения кз}$$

$$U_p = \sqrt{U_k^2 - U_a^2}$$

$\cos \varphi$  и  $\sin \varphi$  - коэффициенты мощности по нагрузке трансформатора

### Участок 1-2

$$R_1 = r_{01} \cdot l = 0,641 \cdot 0,455 = 0,291 \text{ Ом}$$

$$X_1 = x_{01} \cdot l = 0,126 \cdot 0,455 = 0,057 \text{ Ом}$$

Определяем потери напряжения на данном участке:

$$U_1 = 10,5 \text{ кВ}$$

$$\Delta U_{12} = \frac{P \cdot R_{12} + Q \cdot X_{12}}{10 \cdot U_n^2} = \frac{381,44 \cdot 0,291 + 332,71 \cdot 0,057}{10 \cdot 10,5^2} =$$
$$= 0,117\%$$

Потеря напряжения в вольтах:

$$\Delta U_{12} = 0,117 \cdot \frac{10500}{100} = 12,28 \text{ В}$$

Напряжение в конце данного участка:

$$U_2 = 10500 - 12,28 = 10487,72 \text{ В}$$

### Участок 2-3

Потери напряжения на участке определяются потерей напряжения на цеховом трансформаторе

Активная составляющая напряжения короткого замыкания цехового трансформатора :

$$U_{a\%} = \frac{\Delta P_{кз}}{S_{нт}} \cdot 100 = \frac{7,6}{630} \cdot 100 = 1,2$$

$$U_{p\%} = \sqrt{U_{к\%}^2 - U_{a\%}^2} = \sqrt{5,5^2 - 1,2^2} = 5,37$$

Коэффициенты мощности для вторичной нагрузки цехового трансформатора определяются по формуле:

$$\cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} = \frac{381,44}{\sqrt{381,44^2 + 332,71^2}} = 0,75$$

$$\sin \varphi = \frac{Q}{\sqrt{P^2 + Q^2}} = \frac{332,71}{\sqrt{381,44^2 + 332,71^2}} = 0,65$$

$\beta_m$  – отношение фактической нагрузки одного трансформатора к его номинальной мощности в рассматриваемом режиме

$$\beta_m = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{S_{н.тр}} = \frac{\sqrt{381,44^2 + 332,71^2}}{630} = 0,8$$

Потери напряжения в цеховом трансформаторе:

$$\begin{aligned} \Delta U &= \beta_m \cdot (U_a \cos \varphi + U_p \sin \varphi) + \frac{\beta_m^2}{200} \cdot (U_a \sin \varphi - U_p \cos \varphi)^2 = \\ &= 0,8 \cdot (1,2 \cdot 0,75 + 5,37 \cdot 0,65) + \frac{0,8^2}{200} \cdot (1,2 \cdot 0,65 - 5,37 \cdot 0,75)^2 = \\ &= 3,51\% \end{aligned}$$

С учетом потерь в обмотке ВН напряжение ВН :

$$U_{ВН} = 10487,72 - 3,51 \cdot \frac{10500}{100} = 10119,17 В$$

Напряжение на низкой стороне с учетом потерь будет равно:

$$U_{НН} = 400 \cdot \frac{10119,17}{10500} = 385,49 В$$

### Участок 3-4

Активное и реактивное сопротивление кабеля АСБ 4х185

$$R_{34} = r_{02} \cdot l_2 = 0,169 \cdot 0,015 = 2,535 мОм$$

$$X_{34} = x_{02} \cdot l_2 = 0,078 \cdot 0,015 = 1,17 мОм$$

$$\begin{aligned} \Delta U_{34} &= \frac{P \cdot R_{34} + Q \cdot X_{34}}{10 \cdot U_H^2} = \frac{137,98 \cdot 0,002535 + 128,31 \cdot 0,00117}{10 \cdot 0,38^2} = \\ &= 0,39\% \end{aligned}$$

Потеря напряжения на данном участке в вольтах:

$$\Delta U_{34} = 0,39 \cdot \frac{385,49}{100} = 1,5 В$$

Напряжение в конце данного участка:

$$U_4 = 385,49 - 1,5 = 383,99 В$$

#### Участок 4-5

Активное и реактивное сопротивление кабеля АВВГ 4х35

$$R_{45} = r_{03} \cdot l_3 = 0,84 \cdot 10 = 8,4 \text{ мОм}$$

$$X_{45} = x_{03} \cdot l_3 = 0,082 \cdot 10 = 0,82 \text{ мОм}$$

$$\Delta U_{45} = \frac{P \cdot R_{45} + Q \cdot X_{45}}{10 \cdot U_H^2} = \frac{42 \cdot 0,0084 + 25 \cdot 0,00082}{10 \cdot 0,38^2} = 0,26\%$$

Потеря напряжения на данном участке в вольтах:

$$\Delta U_{45} = 0,26 \cdot \frac{383,99}{100} = 0,99 \text{ В}$$

Напряжение в конце данного участка:

$$U_5 = 383,99 - 0,99 = 383 \text{ В}$$

#### Участок 5-6

Активное и реактивное сопротивление кабеля АВВГ 4х16

$$R_{56} = r_{04} \cdot l_4 = 1,95 \cdot 10 = 19,5 \text{ мОм}$$

$$X_{56} = x_{04} \cdot l_4 = 0,095 \cdot 10 = 0,95 \text{ мОм}$$

$$\Delta U_{56} = \frac{P \cdot R_{56} + Q \cdot X_{56}}{10 \cdot U_H^2} = \frac{7,948 \cdot 0,0195 + 8,75 \cdot 0,00095}{10 \cdot 0,38^2} = 0,11\%$$

Потеря напряжения на данном участке в вольтах:

$$\Delta U_{56} = 0,11 \cdot \frac{383}{100} = 0,42 \text{ В}$$

Напряжение в конце данного участка:

$$U_6 = 383 - 0,42 = 382,58 \text{ В}$$

### Расчет минимального режима:

Для определения потоков мощностей минимального режима необходимо воспользоваться характерным суточным графиком электрических нагрузок электротехнического завода, в соответствии с которым  $P_{\min}=0,65P_{\max}$ ,  $Q_{\min}=0,65Q_{\max}$ . После этого расчет повторяется по принципу расчета максимального режима, но при уменьшенной передаваемой мощности.

#### Участок 1-2

$$R_1 = r_{01} \cdot l = 0,641 \cdot 0,455 = 0,291 \text{ Ом}$$

$$X_1 = x_{01} \cdot l = 0,126 \cdot 0,455 = 0,057 \text{ Ом}$$

Определяем потери напряжения на данном участке:

$$U_1 = 10,5 \text{ кВ}$$

$$\Delta U_{12} = \frac{P \cdot R_{12} + Q \cdot X_{12}}{10 \cdot U_H^2} = \frac{381,44 \cdot 0,291 \cdot 0,4 + 332,71 \cdot 0,057 \cdot 0,65}{10 \cdot 10,5^2} =$$
$$= 0,05\%$$

Потеря напряжения в вольтах:

$$\Delta U_{12} = 0,05 \cdot \frac{10500}{100} = 5,25 \text{ В}$$

Напряжение в конце данного участка:

$$U_2 = 10500 - 5,25 = 10494,75 \text{ В}$$

#### Участок 2-3

Потери напряжения на участке определяются потерей напряжения на цеховом трансформаторе

Активная составляющая напряжения короткого замыкания цехового трансформатора :

$$U_{a\%} = \frac{\Delta P_{кз}}{S_{нт}} \cdot 100 = \frac{7,6}{630} \cdot 100 = 1,2$$

$$U_{p\%} = \sqrt{U_{к\%}^2 - U_{a\%}^2} = \sqrt{5,5^2 - 1,2^2} = 5,37$$

Коэффициенты мощности для вторичной нагрузки цехового трансформатора определяются по формуле:

$$\cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} = \frac{381,44 \cdot 0,4}{\sqrt{(381,44 \cdot 0,4)^2 + (332,71 \cdot 0,65)^2}} = 0,57$$

$$\sin \varphi = \frac{Q}{\sqrt{P^2 + Q^2}} = \frac{332,71 \cdot 0,65}{\sqrt{(381,44 \cdot 0,4)^2 + (332,71 \cdot 0,65)^2}} = 0,81$$

$\beta_m$  – отношение фактической нагрузки одного трансформатора к его номинальной мощности в рассматриваемом режиме

$$\beta_m = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{S_{н.тр}} = \frac{\sqrt{(381,44 \cdot 0,4)^2 + (332,71 \cdot 0,65)^2}}{630} = 0,42$$

Потери напряжения в цеховом трансформаторе:

$$\begin{aligned} \Delta U &= \beta_m \cdot (U_a \cos \varphi + U_p \sin \varphi) + \frac{\beta_m^2}{200} \cdot (U_a \sin \varphi - U_p \cos \varphi)^2 = \\ &= 0,42 \cdot (1,2 \cdot 0,57 + 5,37 \cdot 0,81) + \frac{0,42^2}{200} \cdot (1,2 \cdot 0,81 - 5,37 \cdot 0,57)^2 = \\ &= 2,11\% \end{aligned}$$

С учетом потерь в обмотке ВН напряжение ВН :

$$U_{ВН} = 10494 - 2,11 \cdot \frac{10500}{100} = 10272,45 В$$

Напряжение на низкой стороне с учетом потерь будет равно:

$$U_{НН} = 400 \cdot \frac{10272,45}{10500} = 391,33 В$$

### Участок 3-4

Активное и реактивное сопротивление кабеля АСБ 4х185

$$R_{34} = r_{02} \cdot l_2 = 0,169 \cdot 0,015 = 2,535 мОм$$

$$X_{34} = x_{02} \cdot l_2 = 0,078 \cdot 0,015 = 1,17 мОм$$

$$\begin{aligned} \Delta U_{34} &= \frac{P \cdot R_{34} + Q \cdot X_{34}}{10 \cdot U_H^2} = \frac{137,98 \cdot 0,002535 \cdot 0,4 + 128,31 \cdot 0,00117 \cdot 0,65}{10 \cdot 0,38^2} = \\ &= 0,16\% \end{aligned}$$

Потеря напряжения на данном участке в вольтах:

$$\Delta U_{34} = 0,16 \cdot \frac{391,33}{100} = 0,63 В$$

Напряжение в конце данного участка:

$$U_4 = 391,33 - 0,63 = 390,7 В$$

### Участок 4-5

Активное и реактивное сопротивление кабеля АВВГ 4х35

$$R_{45} = r_{03} \cdot l_3 = 0,84 \cdot 10 = 8,4 мОм$$

$$X_{45} = x_{03} \cdot l_3 = 0,082 \cdot 10 = 0,82 мОм$$

$$\begin{aligned} \Delta U_{45} &= \frac{P \cdot R_{45} + Q \cdot X_{45}}{10 \cdot U_H^2} = \frac{42 \cdot 0,0084 \cdot 0,4 + 25 \cdot 0,00082 \cdot 0,65}{10 \cdot 0,38^2} = \\ &= 0,15\% \end{aligned}$$

Потеря напряжения на данном участке в вольтах:

$$\Delta U_{45} = 0,15 \cdot \frac{390,7}{100} = 0,59B$$

Напряжение в конце данного участка:

$$U_5 = 390,7 - 0,59 = 390,11B$$

### Участок 5-6

Активное и реактивное сопротивление кабеля АВВГ 4х16

$$R_{56} = r_{04} \cdot l_4 = 1,95 \cdot 10 = 19,5 мОм$$

$$X_{56} = x_{04} \cdot l_4 = 0,095 \cdot 10 = 0,95 мОм$$

$$\Delta U_{56} = \frac{P \cdot R_{56} + Q \cdot X_{56}}{10 \cdot U_H^2} = \frac{7,948 \cdot 0,0195 \cdot 0,4 + 8,75 \cdot 0,00095 \cdot 0,65}{10 \cdot 0,38^2} =$$

$$= 0,05\%$$

Потеря напряжения на данном участке в вольтах:

$$\Delta U_{56} = 0,05 \cdot \frac{390,11}{100} = 0,2B$$

Напряжение в конце данного участка:

$$U_6 = 390,11 - 0,2 = 389,91B$$

## 2.5 Расчет токов короткого замыкания до 1000 В:

Производим для участка цеховой сети от ТП до наиболее мощного электроприемника цеха (фрезерный станок с ЧПУ).

Сопrotивление энергосистемы, приведенное к стороне низкого напряжения:

$$x_{c.нн} = x_{c.вн} \cdot \left( \frac{U_{ном.тр.нн}}{U_{ном.тр.вн}} \right)^2 = \frac{U_{c.вн}}{\sqrt{3} \cdot I_{кзвн}^{(3)}} \cdot \left( \frac{U_{ном.тр.нн}}{U_{ном.тр.вн}} \right)^2 =$$
$$= \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 4,263} \cdot \left( \frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,002 Ом = 2 мОм$$

Сопrotивление цехового трансформатора:

$$r_m = \frac{\Delta P_k \cdot U_{ном}^2}{S_{ном.т.}^2} = \frac{7,6 \cdot 0,4^2}{630^2} = 3 мОм$$
$$x_m = \frac{U_{ном}^2}{S_{ном.т.}} \cdot \sqrt{\left( \frac{u_{кз}}{100} \right)^2 - \left( \frac{\Delta P_{кз}}{S_{ном.тр}} \right)^2} =$$
$$= \frac{0,4^2}{630} \cdot \sqrt{\left( \frac{5,5}{100} \right)^2 - \left( \frac{7,6}{630} \right)^2} = 13,7 мОм$$

Сопrotивления катушек максимального тока автоматов

При 50 А  $r=5,5$  мОм  $x=2,7$  мОм, переходное сопротивление контакта 1,3 мОм.

При 80 А  $r=2$  мОм  $x=1,1$  мОм, переходное сопротивление контакта 0,9 мОм.

При 320 А  $r=0,22$  мОм  $x=0,17$  мОм, переходное сопротивление контакта 0,5 мОм.

Сопrotивление кабельной линии АВВГ 4х10

$$r = r_{y\partial} \cdot l = 2,94 \cdot 0,009 = 26,46 мОм$$

$$x = x_{y\partial} \cdot l = 0,073 \cdot 0,009 = 0,657 мОм$$

Сопrotивлении линии АВВГ 4х35

$$r = r_{y\partial} \cdot l = 0,84 \cdot 0,01 = 8,4 мОм$$

$$x = x_{y\partial} \cdot l = 0,064 \cdot 0,01 = 0,64 мОм$$

Сопrotивления кабеля АСБ 4х185

$$r = r_{y\partial} \cdot l = 0,169 \cdot 0,015 = 2,535 мОм$$

$$x = x_{y\partial} \cdot l = 0,078 \cdot 0,015 = 1,17 мОм$$

**Ток короткого замыкания в точке 1**

$$I_{кз} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{50^2 + 22,137^2}} = 4226 А$$

Ударный ток равен:

$$I_y = \sqrt{2} \cdot I_{кз} \cdot \kappa_y = \sqrt{2} \cdot 4226 = 5959 А$$

**Ток короткого замыкания в точке 2**

$$I_{кз} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{18,78^2 + 17,2^2}} = 8828 A$$

Ударный ток равен:

$$I_y = \sqrt{2} \cdot I_{кз} \cdot \kappa_y = \sqrt{2} \cdot 8828 = 12447 A$$

**Ток короткого замыкания в точке 3**

$$I_{кз} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{17,04^2 + 8,055^2}} = 12267 A$$

Ударный ток равен:

$$I_y = \sqrt{2} \cdot I_{кз} \cdot \kappa_y = \sqrt{2} \cdot 12267 = 17296 A$$



## 2.6 Построение карты селективности действия аппаратов защиты

Построим карту селективности от ТПЗ до фрезерного станка с ЧПУ.

Фрезерный станок с ЧПУ:

Номинальный ток

$$I_{ном} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \cos \varphi} = \frac{22}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,7} = 47,8 A$$

Пусковой ток:

$$I_{пуск} = 5 \cdot I_{ном} = 5 \cdot 47,8 = 239 A$$

ПРЗ:

Расчетный ток:

$$I_p = 74,38 A$$

Пиковый ток:

$$I_{пик} = I_{п max} + (I_p - K_u \cdot I_{н max}) = 239 + 74,38 - 0,17 \cdot 47,8 = 305,25 A$$

ПР:

Расчетный ток:

$$I_p = 286,61 A$$

Пиковый ток:

$$I_{пик} = I_{п max} + (I_p - K_u \cdot I_{н max}) = 239 + 286,61 - 0,17 \cdot 47,8 = 517,5 A$$

Обозначения на карте селективности:

1. Номинальный ток ЭП
2. Пусковой ток ЭП
3. Расчетный ток ПРЗ
4. Пиковый ток ПРЗ
5. Расчетный ток ПР
6. Пиковый ток ПР
7. Защитная характеристика автоматического выключателя ВА 5735 50 А
8. Защитная характеристика автоматического выключателя ВА 5735 80А
9. Защитная характеристика автоматического выключателя ВА 5239 320А
- 10,11,12 Значения токов КЗ в точках К<sub>3</sub>, К<sub>2</sub>, К<sub>1</sub>

Тип аппарата	ВА5239	ВА5735	ВА5735
I <sub>ном</sub> , А	630	80	50
Условия срабатывания , А			
по току	320	100	50
при КЗ	2500	500	250
Условия срабатывания по времени			
При КЗ	0,015	0.01	0.01

### **3. ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ЗАВОДА**

#### **3.1 Определение расчётной нагрузки предприятия в целом**

Расчётная нагрузка (активная и реактивная) силовых приёмников цехов определяются из выражений:

$$P_p = K_c \cdot P_n; \quad (2.2.1)$$

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (2.2.2)$$

где  $P_n$  – суммарная установленная мощность всех приёмников цеха;

$K_c$  – коэффициент спроса, принимаемый по справочным данным; [3]

$\operatorname{tg} \varphi$  – принимается по соответствующему значению коэффициента мощности;

Пример расчетов для инструментального цеха:

Расчётные активная и реактивная нагрузки силовых приёмников цеха:

$$P_p = K_c \cdot P_n = 0,2 \cdot 400 = 80 \text{ кВт};$$

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi = 80 \cdot 1,73 = 138,4 \text{ кВАр}.$$

Номинальная мощность осветительной нагрузки цеха:

$$P_{н.о.} = P_{уд.ос.} \cdot F_{ц} = 17 \cdot 1840 = 31,28 \text{ кВт}.$$

Расчетная нагрузка от освещения:

$$P_{р.о.} = P_{н.о.} \cdot K_{с.о.} = 31,28 \cdot 0,95 = 29,71 \text{ кВт}.$$

Таблица – Определение расчетных нагрузок 0,38 и 6-10 кВ по цехам завода ао установленной мощности и коэффициенту спроса

№ по ген. плану	Наименование потребителей	Силовая нагрузка				
		P <sub>н</sub> , кВт	K <sub>с</sub>	cosφ/tgφ	P <sub>р</sub> , кВт	Q <sub>р</sub> , кВт
1	2	3	4	5	6	7
	<b>Потребители электроэнергии 0,38 кВ</b>					
1	Главный корпус	900	0,5	0,65/1,17	450	526,5
2	Заводоуправление	110	0,8	0,8/0,75	88	66
3	Механический	426,76			113,51	128,31
4	Инструментальный	400	0,2	0,5/1,73	80	138,4
5	Обмоточный	850	0,5	0,65/1,17	425	497,25
6	Лаборатория	140	0,5	0,6/1,33	70	93,1
7	Кузнечный	500	0,4	0,6/1,33	200	266
8	Штамповочный	1200	0,2	0,5/1,73	240	415,2
9	Сборочный	990	0,3	0,5/1,73	297	513,81
10	Литейный	900	0,4	0,7/1,02	360	367,2
11	Компрессорная	60	0,85	0,8/0,75	51	38,25
	<b>Итого по 0,38 кВ</b>	<b>6476,76</b>			<b>2374,51</b>	<b>3050,02</b>
	<b>Потребители электроэнергии 10 кВ</b>					
1	Компрессорная	500	0,85	0,8/0,75	425	318,75
	<b>Итого по 10 кВ</b>	<b>500</b>			<b>425</b>	<b>318,75</b>

Таблица 3 – Определение расчетных электрических нагрузок по цехам завода

№ по ген. плану	Наименование потребителей	Осветительная нагрузка					Силовая и осветительная нагрузки		
		$F, м^2$	$P_{уд.о}, Вт/м^2$	$P_{н.о.}, кВт$	$K_{с.о.}$	$P_{р.о.}, кВт$	$P_p + P_{р.о.}, кВт$	$Q_p, кВар$	$S_p, кВА$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	<b>Потребители электроэнергии 0,38 Кв</b>								
1	Главный корпус	22175,68	15	332,6	0,9	299,34	749,34	526,5	915,8
2	Заводоуправление	2990	17	50,83	0,9	45,75	133,75	66	149,1
3	Механический	1840	14	25,76	0,95	24,47	137,98	128,31	188,42
4	Инструментальный	1840	17	31,28	0,95	29,71	109,71	138,4	176,6
5	Обмоточный	10029,84	16	160,48	0,95	152,45	577,45	497,25	762
6	Лаборатория	5411,67	20	108,23	0,95	102,82	172,82	93,1	196,3
7	Кузнечный	2864,54	14	40,1	0,95	38,1	238,1	266	357
8	Штамповочный	5387,87	14	75,43	0,95	71,66	311,66	415,2	519,2
9	Сборочный	7220,85	17	122,75	0,95	116,61	413,61	513,81	659,6
10	Литейный	2888,34	16	46,21	0,95	43,9	403,9	367,2	545,9
11	Компрессорная	3680	14	51,52	1,0	51,52	102,52	38,25	109,42
	Территория завода	157536,2	0,22	34,66	1,0	34,66	34,66	–	–

	<b>Итого по 0,38 кВ</b>	<b>F<sub>ц</sub>= 66328,79</b>		<b>1118, 72</b>		<b>1011</b>	<b>3385,5</b>	<b>3050,02</b>	<b>4557</b>
	<b>Потребители электроэнергии 10 кВ</b>								
1	Компрессорная	—	—	—	—	—	425	318,75	531,3
	<b>Итого по 10 кВ</b>	—	—	—	—	—	<b>425</b>	<b>318,75</b>	<b>531,3</b>

Так как трансформаторы цеховых подстанций и высоковольтная сеть еще не выбраны, то приближенно потери мощности в них можно определить из выражений:

$$\Delta P_m = 0,02 \cdot S_p^H = 0,02 \cdot 4557 = 91,14 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_m = 0,1 \cdot S_p^H = 0,1 \cdot 4557 = 455,7 \text{ кВар}$$

$$\Delta P_{\text{л}} = 0,03 \cdot S_p^H = 0,03 \cdot 4557 = 136,71 \text{ кВт}$$

Суммарные расчетная активная и реактивная мощности, отнесенные к шинам 10 кВ ГПП

$$P_{p\Sigma} = (\sum P_p^H + \sum P_p^6) \cdot K_{p.m.} + P_{p.o.} + \Delta P_m + \Delta P_{\text{л}} = (2374,51 + 425) \cdot 0,9 + 1011 + 91,14 + 136,71 = 3758,4 \text{ кВт}$$

$$Q_{p\Sigma} = (\sum Q_p^H + \sum Q_p^6) \cdot K_{p.m.} + \Delta Q_m = (3050,02 + 318,75) \cdot 0,9 + 455,7 = 3487,59 \text{ кВар}$$

$K_{p.m.}$  – коэффициент разновременности максимумов нагрузки отдельных групп электроприемников

Потери мощности в трансформаторах ГПП:

$$\Delta P_{m\text{ГПП}} = 0,02 \cdot S_{p\Sigma} = 0,02 \cdot 3810,5 = 76,21 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_{m\text{ГПП}} = 0,1 \cdot S_{p\Sigma} = 0,1 \cdot 3368,77 = 336,88 \text{ кВар}$$

Полная расчетная мощность предприятия со стороны высшего напряжения трансформаторов ГПП определяется:

$$S_{p\text{ГПП}} = \sqrt{(P_{p\Sigma} + \Delta P_{m\text{ГПП}})^2 + (Q_{p\Sigma} + \Delta Q_{m\text{ГПП}} - Q_{\text{кв}})^2} = \\ \sqrt{(3758,4 + 76,21)^2 + (3487,59 + 336,88 - 2454,25)^2} = \\ = 4072 \text{ кВА}$$

$$Q_{\text{кв}} = Q_{p\Sigma} - Q_c$$

$Q_c$  – наибольшее значение реактивной мощности, передаваемой из сети энергосистемы в сеть предприятия в режиме наибольших активных нагрузок энергосистемы

$$Q_c = \alpha \cdot P_{p\Sigma} \quad \alpha = 0,24$$

при напряжении 35 кВ

$$Q_c = \alpha \cdot P_{p\Sigma} = 0,24 \cdot 3810,5 = 914,52 \text{ кВар}$$

$$Q_{\text{кв}} = Q_{p\Sigma} - Q_c = 3368,77 - 914,52 = 2454,25 \text{ кВар}$$

### 3.2 Картограмма и определение центра электрических нагрузок

Картограмма нагрузок представляет собой размещенные на генплане предприятия площади, ограниченные кругами, которые в определенном масштабе соответствуют расчетным нагрузкам цехов.

Радиусы окружностей для каждого цеха:

$$r_i = \sqrt{\frac{S_{pi}}{\pi \cdot m}}$$

$S_{pi}$  – расчетная полная мощность  $i$ -ого цеха с учетом освещения, кВА

$m$ - масштаб для определения площади круга, кВА/мм<sup>2</sup> (постоянный для всех цехов предприятия)

Силовые нагрузки до и выше 1000В изображаются отдельными кругами или секторами в круге. Считаем, что нагрузка по цеху распределена равномерно, поэтому центр нагрузок совпадает с центром тяжести фигуры, изображающей цех в плане.

Осветительная нагрузка наносится в виде сектора угла, изображающего нагрузку до 1000 В. Угол сектора  $\alpha$  определяется из соотношения полных расчетных  $S_{pi}$  и осветительных нагрузок  $P_{po}$  цехов:

$$\alpha = \frac{360^\circ \cdot P_{p.o.}}{S_{pi}}$$

На генплан завода произвольно наносятся оси координат и определяются значения  $x_i$  и  $y_i$  для каждого цеха. Координаты центра электрических нагрузок завода  $x_0$  и  $y_0$  определяются по формулам:

№ цеха по ген плану	S <sub>р.и.</sub> , кВА	P <sub>р.о.</sub> , кВт	r, мм	α, град	X <sub>i</sub> , м	Y <sub>i</sub> , м	S <sub>р.и</sub> X <sub>i</sub> , кВАм	S <sub>р.и</sub> Y <sub>i</sub> , кВАм
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Потребители 0,4 кВ</b>								
1	915,8	299,34	9.86	117.67	266,15	56,45	243740,17	51696,91
2	149,1	45,75	3.98	110.46	483,9	145,77	72149,49	21734,31
3	188,42	24,47	4.47	46.75	438,74	132,27	82667,39	24922,31
4	176,6	29,71	4.33	60.57	403,25	132,27	71213,95	23358,89
5	762	152,45	8.99	72	312,92	148,4	238445,04	113080,8
6	196.3	102,82	4.56	188.56	227,43	156,46	44644,51	30713,1
7	357	38,1	6.16	38.42	154,85	220,98	55281,45	78889,86
8	519,2	71,66	7.42	49.69	248,4	237,11	128969,28	123107,51
9	659,6	116,61	8.37	63.64	379	237,11	249988,4	156397,76
10	545,9	43,9	7.61	28.95	474,2	237,11	258865,78	129438,35
11	109,42	51,52	3.4	169.5	425,8	303,24	46591,04	33180,52
<b>Потребители 10 кВ</b>								
1	531,3	–	7.51		470	303,24	249711	161111,41
<b>Итого</b>	<b>5088,3</b>	<b>–</b>	<b>–</b>	<b>–</b>	<b>–</b>	<b>–</b>	<b>1742268</b>	<b>947631,7</b>

$$x_0 = \frac{\sum S_{pi} \cdot x_i}{\sum S_{pi}} = \frac{1742268}{5088,3} = 342,4$$

$$y_0 = \frac{\sum S_{pi} \cdot y_i}{\sum S_{pi}} = \frac{947631,7}{5088,3} = 186,24$$



### 3.3 Выбор числа и мощности цеховых трансформаторов

При установке на крупных промышленных предприятиях группы цеховых трансформаторов их номинальная мощность определяется плотностью нагрузки и выбирается, как правило, одинаковой для всей группы. Удельная плотность нагрузки определяется по следующей формуле:

$$\sigma = \frac{S_p^H}{F_{\text{цехов}}} = \frac{4557}{66328,79} = 0,069$$

Рекомендуемые номинальные мощности трансформаторов для плотности нагрузки от 0,05 до 0,1 кВА/м<sup>2</sup> – 630 кВА

Минимальное возможное число трансформаторов определяется по формуле:

$$N_0 = \frac{\sum P_p^H}{\beta_m \cdot S_{н.тр}} = \frac{3385,5}{0,7 \cdot 630} = 7,68$$

Округляем до ближайшего большего значения. Принимаем  $N_0=8$

Для равномерного распределения активных нагрузок цехов между ними определяем активную нагрузку, приходящуюся на один цеховой трансформатор:

$$P_1 = \frac{\sum P_p^H}{N} = \frac{3385,5}{8} = 423,18$$

Число трансформаторов  $N_i$ , которое следует установить в том или ином цехе определяется делением нагрузки цеха  $P_p + P_{p.o.}$  на  $P_1$ :

$$N_i = \frac{P_{p.o.} + P_p}{P_1}$$

Если получается число дробное, то объединяют нагрузки близлежащих цехов.

Подстанции устанавливают одно- или двух трансформаторные в зависимости от необходимой надежности электроснабжения.

№	Наименование цеха	Категория надежности электроснабжения
1	Главный корпус	2
2	Заводоуправление	3
3	Механический	3
4	Инструментальный	3
5	Обмоточный	3
6	Лаборатория	3
7	Кузнечный	2
8	Штамповочный	2
9	Сборочный	2
10	Литейный	2
11	Компрессорная 10 кВ СД 0,38 кВ	2

Принимаем трансформаторы ТМ-630/10

В главном корпусе устанавливаем ТП1 с двумя трансформаторами 630 кВА, в

Тип	Номинальная мощность, кВА	Номинальное высшее напряжение, кВ	Номинальное низшее напряжение, кВ	Потери холостого хода, кВт.	Потери короткого замыкания, кВт.	Ток холостого хода, %	Напряжение короткого замыкания, %
ТМ-630/10/0,4	630	10	0,4	1,25	7,6	1,7	5,5

обмоточном цехе ТП2 с двумя трансформаторами 630 кВА, в инструментальном цехе ТП3 с одним трансформатором 630 кВА, в штамповочном цехе ТП4 с двумя трансформаторами 630 кВА, в сборочном цехе ТП5 с 2 трансформаторами 630 кВА.

### 3.4 Схема внешнего электроснабжения

Электроснабжение завода осуществляется от подстанции энергосистемы. В целях резервирования применяется схема электроснабжения по двум радиальным линиям. Питающие линии выполняются воздушными. В нормальном рабочем режиме пропускная способность каждой из питающих линий составляет не менее половины расчетной нагрузки завода. В аварийном режиме работы любая из питающих линий с учетом перегрузки (до 30%) должна обеспечить электроэнергией потребителей первой и второй категории.

ГПП размещается на территории завода в соответствии с расчетным центром электрических нагрузок с некоторым смещением в сторону источника питания.

Выбор напряжения питающих и распределительных сетей зависит от мощности потребляемой предприятием, его удаленности от источника питания, напряжения источника питания, количества и единичной мощности ЭП.

Полная расчетная мощность предприятия со стороны высшего напряжения трансформаторов ГПП равна 4072 кВА.

При передаваемой мощности не более 10 МВА экономические преимущества имеет напряжение 35 кВ.

Мощность трансформаторов на ГПП определяется по формуле:

$$S_{н.тр} = \frac{S_{рГПП}}{2 \cdot \beta_{\tau}} = \frac{4072}{2 \cdot 0,7} = 2908,57 \text{ кВА}$$

Принимаем трансформатор ТМ-3200/35

Питающие линии выполняются проводом АС. По условия механической прочности сечение не должно быть меньше 25 мм<sup>2</sup>

Тип	Номинальная мощность, кВА	Номинальное высшее напряжение, кВ	Номинальное низшее напряжение, кВ	Потери холостого хода, кВт.	Потери короткого замыкания, кВт.	Ток холостого хода, %	Напряжение короткого замыкания, %
ТМ-3200/35	3200	35	10,5	11,5	37	7	4,5

Выбор сечения провода производится по экономической плотности тока:

$$F_{\text{эк}} = \frac{I_p}{j_{\text{эк}}}$$

$$I_p = \frac{S_{p\text{ГПП}}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{4072}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 35} = 33,62 \text{ A}$$

В аварийном режиме

$$I_p = \frac{S_{p\text{ГПП}}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{4072}{\sqrt{3} \cdot 35} = 67,24 \text{ A}$$

$$F_{\text{эк}} = \frac{33,62}{1} = 33,62 \text{ мм}^2$$

По условия механической прочности принимаются сталеалюминиевые провода сечением не менее 25 мм<sup>2</sup>

Допустимая длина питающей линии:

$$l_{\text{дон}} = l_{\Delta U 1\%} \cdot \Delta U_{\text{дон}\%} \cdot k_3 \geq l$$

$$k_3 = \frac{I_{\text{дон}}}{I_p} - \text{коэффициент загрузки линии}$$

$$l_{\text{дон}} = 1,340 \cdot \frac{175}{33,62} \cdot 5 = 34,8 \geq l = 7$$

Принимаем провод марки АС-35/6,2 с допустимым током при прокладке в воздухе 175 А.

Условие  $1,3 \cdot I_{\text{дон}} \geq I_{p.\text{макс}}$  выполняется.

### 3.5 Схема внутриводской сети 10 кВ

Распределительная сеть 10 кВ по территории завода выполняется кабельными линиями проложенными в траншеях.

Сечение кабельных линий выбирается по экономической плотности тока. Экономически целесообразно сечение  $F$ , мм<sup>2</sup>, определяется из выражения:

$$F_{\text{эк}} = \frac{I_p}{j_{\text{эк}}}$$

$j_{\text{эк}}$  – нормированное значение экономической плотности тока, А/мм<sup>2</sup>

$$I_p = \frac{\sqrt{(P_p^H + \Delta P_m)^2 + (Q_p^H + \Delta Q_m)^2}}{n_{\text{лин}} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}$$

Для ТП1

$$\beta_m = \frac{915.8}{2 \cdot 630} = 0,73$$

$$\Delta P_m = \Delta P_x \cdot n + \Delta P_{\text{кз}} \cdot \beta_m^2 \cdot \frac{1}{n} = 1,25 \cdot 2 + 1,76 \cdot 0,73^2 \cdot \frac{1}{2} = 2,97 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_x = \frac{S_{\text{н.тр}} \cdot I_x}{100} = \frac{630 \cdot 1,7}{100} = 10,71 \text{ кВар}$$

$$\Delta Q_{\text{кз}} = \frac{S_{\text{н.тр}} \cdot U_{\text{кз}}}{100} = \frac{630 \cdot 5,5}{100} = 34,65 \text{ кВар}$$

$$\Delta Q_m = \Delta Q_x \cdot n + \Delta Q_{\text{кз}} \cdot 0,73^2 \cdot \frac{1}{n} =$$

$$= 10,71 \cdot 2 + 34,65 \cdot 0,73^2 \cdot \frac{1}{2} = 30,65 \text{ кВар}$$

$$I_p = \frac{\sqrt{(749,34 + 2,97)^2 + (526,5 + 30,65)^2}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5} = 25,77 \text{ А}$$

$$F_{\text{эк}} = \frac{I_p}{j_H} = \frac{25,77}{1,4} = 18,4$$

Кабельные линии питающие цеховые трансформаторы проверяются по нагреву максимальным расчетным током, который определяется по выражению:

$$I_{p\max} = \frac{n_{mp} \cdot S_{номi} + n_{mp} \cdot \Delta S_{mp}}{n_{лин} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{2 \cdot 630 + 2 \cdot 30,7}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10,5} = 36,37 \text{ A}$$

Также необходимо проверить сечение жил кабеля на термическую стойкость при КЗ после расчетов токов выше 1000 В.

$$F_{\min} = \frac{\sqrt{B_k}}{C_m}$$

$C_m$  – коэффициент, зависящий от допустимой температуры при КЗ и материала проводника, для кабелей 10 кВ с полиэтиленовой изоляцией с алюминиевыми жилами равен  $65 \text{ A} \cdot \text{с}^{1/2} / \text{мм}^2$  начальное действующее значение периодической составляющей тока КЗ,  $\tau$  – расчетное время отключения выключателя

$B_k$  – тепловой импульс тока КЗ

$$B_k = I_{по}^2 \cdot (\tau + T_a)$$

$I_{по}$  – начальное действующее значение периодической составляющей тока КЗ;

$\tau$  – расчетное время отключения выключателя

$T_a$  – постоянная затухания аperiodической составляющей тока КЗ

$$T_a = \frac{x_{\Sigma}}{\omega \cdot r_{\Sigma}}, \text{ с}$$

$\omega$  – угловая частота 314 рад/с

$x_{\Sigma}, r_{\Sigma}$  – результирующее реактивное и активное сопротивление схемы относительно точки КЗ

Для ТП1

$$B_k = I_{по}^2 \cdot (\tau + T_a) = 4296^2 \cdot (0,01 + 0,12 + 0,009) = 2565330 \text{ A}^2 \cdot \text{с}, \text{ где}$$

$$\tau = t_{pз\min} + t_{своткл} = 0,12 + 0,01 = 0,13 \text{ с}$$

$t_{p3 \min}$  -минимальное время срабатывания первой ступени защиты, принимаемое равным 0,01с

$t_{своткл}$  -собственное время отключения выключателя.

Для маломасляных выключателей =0,12 с

$$T_a = \frac{x_{\Sigma}}{\omega \cdot r_{\Sigma}} = T_a = \frac{0,122}{314 \cdot 0,043} = 0,009с$$

Принимаем кабель АПвП 3х50 с допустимым током 170 А для всех линий 10кВ

### 3.6 Расчет токов короткого замыкания в сети выше 1000В

Все электрические аппараты и токоведущие части электрических установок должны быть выбраны таким образом, чтобы исключалось их разрушение при прохождении по ним наибольших возможных токов КЗ, в связи с чем возникает необходимость расчета этих величин.

Расчет токов КЗ ведем в относительных единицах. Для этого все расчетные данные приводим к базисному напряжению и базисной мощности.

Шкала  $U_6$ : 230, 115, 37, 10.5, 6.3, 3.15, 0.69, 0.525, 0.4, 0.23 кВ

За базисную мощность  $S_6$  принимают любое число кратное 10.

Для расчета токов КЗ составляется расчетная схема – упрощенная однолинейная схема электроустановки, в которой учитывают все источники питания, трансформаторы, воздушные и кабельные линии, реакторы.

По расчетной схеме составляется схема замещения, в которой указываются сопротивления всех элементов и намечаются точки для расчета токов КЗ.

Принимаем базисную мощность  $S_6 = 10 \text{ МВА}$ , базисное напряжение

$$U_6 = 10,5 \text{ кВ} \text{ Тогда базисный ток } I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_6} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 0,55 \text{ кА}$$

Базисные сопротивления схем замещения:

**Для КЗ на линии питающей ТПЗ:**

Воздушные линии Л1 и Л2:

$$U_{62} = 37 \text{ кВ}$$

$$x_{Л1*} = x_{Л2*} = x_{уд} \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_{62}^2} = 0,402 \cdot 7 \cdot \frac{10}{37^2} = 0,02$$

$$r_{Л1*} = r_{Л2*} = r_{уд} \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_{62}^2} = 1,15 \cdot 7 \cdot \frac{10}{37^2} = 0,06$$

Трансформаторы Т1 и Т2:



$$x_{1*} = x_{2*} = \frac{U_K}{100} \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{S_{н.мп}} = \frac{7}{100} \cdot \frac{10}{3,2} = 0,218$$

Кабельные линии

$$x_{кл1*} = x_{кл2*} = x_{уд} \cdot l \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{U_{\bar{\sigma}2}^2} = 0,126 \cdot 0,455 \cdot \frac{10}{10,5^2} = 0,0052$$

$$r_{кл1*} = r_{кл2*} = r_{уд} \cdot l \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{U_{\bar{\sigma}2}^2} = 0,641 \cdot 0,455 \cdot \frac{10}{10,5^2} = 0,026$$

Суммарное сопротивление:

$$x_{\Sigma*} = 0,01 + 0,109 + 0,0026 = 0,122$$

$$r_{\Sigma*} = 0,03 + 0,013 = 0,043$$

Ток КЗ равен:

$$I = \frac{I_{\bar{\sigma}}}{\sqrt{x_{\Sigma*}^2 + r_{\Sigma*}^2}} = 4,263 \text{ кА}$$

$$\text{Ударный ток: } I_y = \kappa_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_K = 4,263 \cdot 1,41 \cdot 1,33 = 7,99 \text{ кА}$$

Токи короткого замыкания:

Наименование линии	КТП-ТП1	КТП-ТП2	КТП-ТП3	КТП-ТП4	КТП-ТП5	КТП-ТП6
Ток короткого замыкания, А	4296	4330	4263	4400	4250	4220

### 3.7 Выбор высоковольтных выключателей

Выбор высоковольтных выключателей производится:

- по напряжению электроустановки (сети):

$$U_{н.а} \geq U_n$$

- по длительному току

$$I_{\text{раб.макс}} \leq I_n$$

Рабочий максимальный ток в сети можно с двумя параллельно работающими линиями определяется работающими линиями определяется с учетом возможности передать всю мощность по одной линии при отключении другой:

$$I_{\text{раб.макс}} = 2 \cdot I_{\text{ном}}$$

- по действующему значению тока:

$$I_{no} \leq I_{\text{пр.с}}$$

$I_{no}$  – начальное действующее значение периодической составляющей тока КЗ, кА

- по амплитудному значению тока

$$i_y \leq i_{\text{пр.с}}$$

$i_y$  – ударный ток КЗ,  $i_{\text{пр.с}}$  – предельное значение амплитудного сквозного тока КЗ по каталогу

- по отключающей способности:

При времени срабатывания выключателя более 0,08 с и питании электроустановки от энергосистемы проверять выключатели по отключающей способности можно без учета апериодической составляющей тока КЗ:

$$I_{n\tau} \leq I_{\text{откл.н}}$$

$I_{n\tau}$  – действующее значение периодической составляющей тока КЗ к моменту  $\tau$  размыкания контактов выключателя.

Так как расчет ведется для шин системы бесконечной мощности и неизменного напряжения, принимаем  $I_{n\tau} = I_{no}$

$I_{\text{откл.н}}$  – номинальный ток отключения выключателя

Расчетное время отключения выключателя  $\tau$  определяется по выражению по отключающей способности

$$\tau = t_{\text{р.з.мин}} + t_{\text{с.в.откл}}$$

$t_{\text{р.з.мин}}$  – минимальное время срабатывания первой ступени защиты, принимаемое равным 0,01 с

$t_{\text{с.в.откл}}$  – собственное время отключения выключателя

- на термическую стойкость выключатели проверяются по расчетному импульсу квадратичного тока КЗ  $B_k$

$$B_k \leq I_T^2 \cdot t_T$$

$I_T$  – допустимый ток термической стойкости выключателя

$t_T$  – время термической стойкости выключателя при протекании тока  $I_T$

$$B_k = I_{no}^2 \cdot (\tau + T_a)$$

$T_a$  – постоянная времени цепи КЗ. Для промышленных предприятий на напряжении 10кВ  $T_a = 0,01c$

На примере выключателя для линии питающей ТП1:

$$I_{p\max} = \frac{\sqrt{(749,34 + 2,97)^2 + (526,5 + 30,65)^2}}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 51,54A$$

Периодическая составляющая тока короткого замыкания

$$I = 4,263кА$$

Ударный ток

$$I_y = 7,99кА$$

$$B_k = I_{no}^2 \cdot (\tau + T_a) = 4263^2 \cdot (0,01 + 0,07 + 0,01) = 1,636 \cdot 10^6 A^2 \cdot c$$

Принимаем выключатель ВБС-10  $U_n = 10кВ$   $I_{ном} = 400A$   $I_{откл} = 4кА$   $i_{np.c} = 10кА$

$$t_{с.в.откл} = 0,07c \quad I_T = 10кА \quad t_T = 3c$$

$$I_{раб.макс} \leq I_n \quad 51,54A \leq 400A$$

$$i_y \leq i_{np.c} \quad 7,99кА \leq 10кА$$

$$B_k \leq I_T^2 \cdot t_T \quad 1,636 \cdot 10^6 A^2 \cdot c \leq (10 \cdot 10^3)^2 \cdot 3 = 300 \cdot 10^6 A^2 \cdot c$$

Все условия выполняются.

В линиях питающих ТП2, ТП3, ТП4, ТП5, СД также устанавливаем выключатель ВБС-10

# ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5А18	Ахмадулин Руслан Мансурович

Институт	Электронного обучения	Кафедра	ЭПП
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	- стоимость материалов и оборудования; - квалификация исполнителей; - трудоемкость работы.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	- нормы амортизации; - размер минимальной оплаты труда.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	- отчисления в социальные фонды.

## Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала инженерных решений (ИР)	- формирование вариантов решения с учетом технического уровня.
2. Формирование плана и графика разработки и внедрения ИР	- планирование выполнения проекта - составление графика разработки и внедрения ИР
3. Составление бюджета инженерного проекта (ИП)	- расчет бюджета на проектирование; - расчет капитальных вложений в основные средства.
4. Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности ИР и потенциальных рисков	

## Перечень графического материала:

1. График разработки и внедрения ИР
-------------------------------------

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Коршунова Лидия Афанасьевна	Кандидат технических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5А18	Ахмадулин Руслан Мансурович		

## **ФИНАНСОВЫЙ МЕНДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

Целью данной работы является составление сметы на проектирование электрической части Электротехнического завода г. Казань и расчет сметы затрат на электрооборудование механического цеха предприятия.

Капитальные вложения в электрооборудование – это в первую очередь, стоимость электрооборудования и стоимость строительно – монтажных работ.

Смета – это документ, определяющий окончательную и предельную стоимость реализации проекта. Смета служит исходным документом капитального вложения полного объема необходимых работ.

Исходными материалами для определения сметной стоимости строительство объекта служат данные проекта по составу оборудования, объему строительных и монтажных работ; прейскуранты цен на оборудование и строительные материалы; нормы и расценки на строительные и монтажные работы; тарифы на перевозку грузов; нормы накладных расходов и другие нормативные документы.

Решение о проектировании электроснабжения принимается на основе технико-экономического обоснования.

На основе утвержденного ТЭО заказчик заключает договор с проектной организацией на проектирование и выдает ей задание, которое содержит:

1. Ген план предприятия;
2. Расположение источника питания;
3. Сведения об электрических нагрузках;
4. План размещения электроприемников на корпусах;
5. Площадь корпусов и все территории завода

Различают две стадии проектирования:

- а) Технический проект;
- б) Рабочий чертеж.

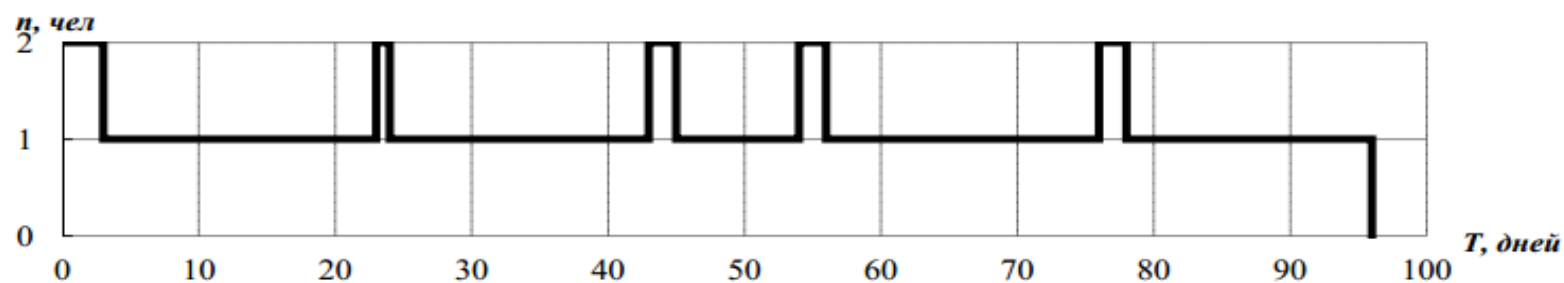
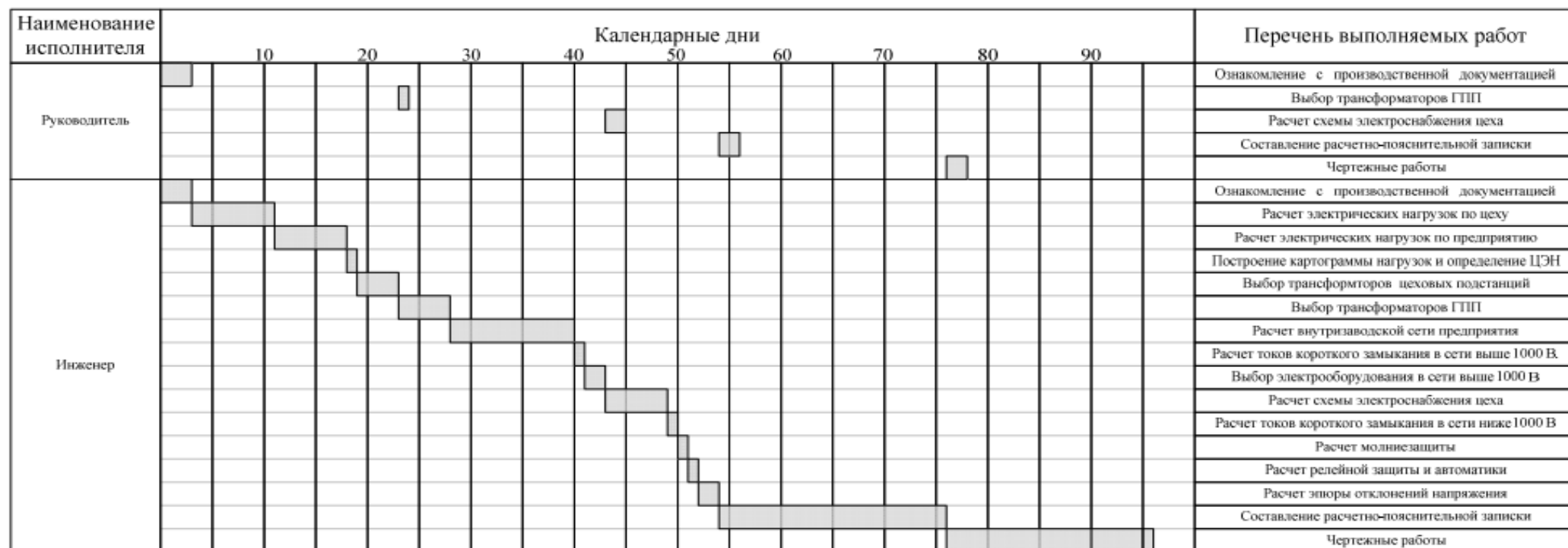
Если проектируемый объект в техническом отношении не сложный, то обе стадии объединяются в одну – технорабочий проект.

## 4.1 Планирование

Для того, чтобы выполнить расчет затрат на проектирование электроснабжения объекта в срок при наименьших затратах средств, составляется план график, в котором рассчитывается поэтапная трудоемкость всех работ. После определения трудоемкости всех этапов темы, назначается число участников работы по этапам (таблица 10.1)

Таблица 4.1 – План разработки выполнения этапов проекта

№ п/п	Перечень выполняемых работ	Исполнители	Про-сть, дн.
1	Ознакомление с производственной документацией. Постановка задачи работникам	Руководитель	3
		Инженер	3
2	Расчет электрических нагрузок по цеху	Инженер	8
3	Расчет электрических нагрузок по предприятию	Инженер	7
4	Построение картограммы нагрузок	Инженер	1
5	Выбор трансформаторов цеховых подстанций.	Инженер	4
6	Выбор трансформаторов ГПП. Технико-экономический расчет схемы внешнего электроснабжения	Руководитель	1
		Инженер	5
7	Расчет внутризаводской сети предприятия	Инженер	12
8	Расчет токов короткого замыкания в сети выше 1000 В.	Инженер	1
9	Выбор электрооборудования в сети 1000 В.	Инженер	2
10	Расчет схемы электроснабжения цеха	Руководитель	2
		Инженер	6
11	Расчет токов короткого замыкания в сети ниже 1000 В	Инженер	1
12	Расчет молниезащиты	Инженер	1
13	Расчет релейной защиты и автоматики	Инженер	1
14	Расчет эпюры отклонений напряжения	Инженер	2
15	Составление расчетно-пояснительной записки	Руководитель	2
		Инженер	22
16	Чертежные работы	Руководитель	2
		Инженер	20
	Сдача проекта	Руководитель	1
		Инженер	1
	Итого по каждой должности	Руководитель	11
		Инженер	97
Итого			108



## 4.2 Смета на проектирование

### 1) Затраты на разработку проекта

$$\Sigma I_{\text{пр}} = I_{\text{мат}} + I_{\text{зп}} + I_{\text{со}} + I_{\text{ам}} + I_{\text{пр}} + I_{\text{накл}},$$

где  $I_{\text{зп}}$  – заработная плата;

$I_{\text{мат}}$  – материальные затраты;

$I_{\text{ам}}$  – амортизация компьютерной техники;

$I_{\text{со}}$  – отчисления в социальные фонды;

$I_{\text{пр}}$  – прочие затраты;

$I_{\text{накл}}$  – накладные расходы.

### 2) Расчет зарплаты

#### а) Месячная зарплата научного руководителя

$$I_{\text{зп}}^{\text{мес}} = \text{ЗП}_0 + Д \cdot K_1 \cdot K_2 = 25000 \cdot 1,16 \cdot 1,3 = 37700 \text{ руб},$$

где  $\text{ЗП}_0$  – месячный оклад;

$Д$  – доплата за интенсивность труда;

$K_1$  – коэффициент, учитывающий отпуск;

$K_2$  – районный коэффициент, (1,3 для Томской области).

Зарплата научного руководителя с учетом фактически отработанных дней

$$I_{\text{зп}}^{\phi} = \frac{I_{\text{зп}}^{\text{мес}}}{21} \cdot n = \frac{37700}{21} \cdot 10,0 = 17952 \text{ руб},$$

где  $n$  – количество отработанных дней по факту.

#### б) Месячная зарплата инженера

$$I_{\text{зп}}^{\text{мес}} = \text{ЗП}_0 \cdot K_1 \cdot K_2 = 20000 \cdot 1,1 \cdot 1,3 = 28600 \text{ руб},$$

Зарплата инженера с учетом фактически отработанных дней

$$I_{\text{зп}}^{\phi} = \frac{I_{\text{зп}}^{\text{мес}}}{21} \cdot n = \frac{28600}{21} \cdot 96,0 = 130743 \text{ руб},$$

Расчет для сотрудников проекта сведем в таблицу 10.2

#### в) Итого $I_{\text{фзп}}$ сотрудников

$$I_{\text{фзп}} = 17952 + 130743 = 148695 \text{ руб}$$

Расчет для сотрудников проекта сведем в таблицу 10.2.

Таблица 4.2

Должность	ЗП <sub>0</sub> , руб	Д, руб	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	I <sub>зп</sub> <sup>мес</sup> , руб
Руководитель	23000	2000	1,16	1,3	37700
Инженер	18000	2000	1,1	1,3	28600
Итого	41000	4000	-	-	66300

### 2) Материалы затраты

Таблица 4.3 – Затраты на материалы

Материалы	Количество	Цена за единицу, руб	I <sub>м</sub> , руб
-----------	------------	----------------------	----------------------



Флеш память	1	480	480
Упаковка бумаги А4 50 листов	1	200	200
Канцтовары	-	650	650
Картридж для принтера	1	2000	2000
Итого И <sub>мат</sub> , руб	-	-	3330

### 3) Амортизация основных фондов

Основной объем работы был произведен на персональных компьютерах.

$$I_{\text{ам}} = \frac{T_{\text{исп.КТ}}}{T_{\text{кал}}} \cdot C_{\text{КТ}} \frac{1}{T_{\text{сл}}}, \text{ где}$$

$T_{\text{исп.КТ}}$  – время использования компьютерной техники на проект;

$T_{\text{кал}} = 365$  – годовой действительный фонд рабочего времени используемого оборудования;

$C_{\text{КТ}}$  – первоначальная стоимость оборудования, руб;

$T_{\text{сл}}$  – срок службы компьютерной техники (время окупаемости 3 года).

$$I_{\text{ам}} = \frac{48}{365} \cdot 23400 \cdot \frac{1}{3} = 923,2 \text{ руб}$$

Дальнейшие расчеты сведем в таблицу 10.4

Таблица 4.4

Оборудование	Стоимость, руб	Количество	$T_{\Sigma}$ , дней	$I_{\text{ам}}$ , руб
Компьютер	23400	2	48	1846,4
Принтер	5200	1	10	46,8
Мебель	4000	2	48	175,3
Итого И <sub>зм</sub>	-	-	-	2068,5

4) Отчисления в социальные фонды (соц. Страхование, пенсионный фонд, мед. страховка) в размере 30% от  $I_{\text{ФЗП}}$

$$I_{\text{со}} = 0,3 \cdot 148695 = 44608 \text{ руб.}$$

5) Прочие расходы ( услуги связи, затраты на ремонт оборудования...) в размере 10% от  $I_{\text{ФЗП}}$ , затрат на материалы, амортизации и отчислений в социальные фонды

$$I_{\text{пр}} = 0,1 \cdot I_{\text{ФЗП}} + I_{\text{м}} + I_{\text{ам}} + I_{\text{со}} =$$

$$= 0,1 \cdot 148695 + 3330,0 + 2068,5 + 44608 = 19870,15 \text{ руб.}$$

6) Накладные расходы (затраты на отопление, освещение, обслуживание помещений, административные расходы ...)

$$I_{\text{накл}} = 2,0 \cdot I_{\text{ФЗП}} = 2,0 \cdot 148695 = 297390 \text{ руб.}$$

7) Затраты на разработку проекта

$$\Sigma И = И_{\text{ФЗП}} + И_{\text{м}} + И_{\text{ам}} + И_{\text{со}} + И_{\text{пр}} + И_{\text{накл}} =$$

$$= 148695 + 3330,0 + 2068,5 + 44680 + 19870,15 + 297390 = 516033,65 \text{ руб}$$

Расчет сметы затрат разработку проекта сведем в таблицу 10.5

Таблица 4.5 – Калькуляция сметной стоимости на выполнение проекта

№ статьи	Наименование статей расхода	Сумма, руб
1	И <sub>ФЗП</sub>	148695
2	Материалы И <sub>мат</sub>	3330,0
3	Амортизация основных фондов И <sub>ам</sub>	2068,5
4	Социальные отчисления И <sub>со</sub>	44680
5	Прочие расходы И <sub>пр</sub>	19870,15
6	Накладные расходы И <sub>накл</sub>	297390
Себестоимость проекта $\Sigma И_{\text{пр}}$ , руб		516033,65
Прибыль		103206,73
Цена		договорная

### 4.3 Формирование варианта электроснабжения завода.

Таблица 4.6 – Структурных решений электроснабжений завода

Индекс параметра	Морфологический признак (параметр)	Вид (способ) исполнения	
		1	2
1	2	3	4
2	Выбор внешнего напряжение питания завода	110кВ	35кВ
3	Выбор провода ВЛ	АС 35/6,2	АС 70/11
4	Выбор трансформатора ГПП	ТМН 4000/35	ТМН 3200/35
5	Выбор напряжение питания завода	10кВ	6кВ
6	Выбор кабеля питания ТП	АСБ 3*70	АПвП 3*50
7	Выбор трансформатора ТП	ТМ 630/10	ТМ 1000/10
8	Выбор аппарата защиты ПР	ВА74 – 43	ВА52-39
9	Выбор кабеля питания ПР	ШМА	АСБ 4 x185
10	Выбор аппарата защиты электроприемника	ВА13-29	ВА57-35
11	Выбор кабеля питания электроприемника	Кабель АВВГ 4x10	Кабель ВВГ 4 □ 4
Вариант решения			

#### 4.4 Смета затрат на электрооборудование рассматриваемого цеха приведена в таблице 10.6

Таблица 4.7 - Смета затрат на электрооборудование рассматриваемого цеха приведена

№ п/п	Наименование оборудования	Единица измерения	Количество	Сметная стоимость, тыс. руб		Общая стоимость, тыс. руб	
				Оборудо- вание	Монтаж	Оборудо- вание	Монтаж
1	Трансформаторы ТМ 630/10	шт	1	680	84,10	680	84,10
2	ПР 11-3011	шт	8	8,36	5,38	66,88	43,04
3	Автомат ВА52-39	шт	1	4,85	0,88	4,85	0,88
	Автомат ВА57-35	шт	65	2,45	0,47	159,25	30,55
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
5	Кабель АСБ-4х185	км	0,015	854,78	87,5	12,82	1,32
	Кабель АВВГ-4х2,5	км	0,035	13,63	14,8	0,477	0,51
	Кабель АВВГ-4х4	км	0,035	16,43	20,3	0,57	0,71
	Кабель АВВГ-4х10	км	0,26	36,12	29,6	9,39	7,69
	Кабель АВВГ-4х16	км	0,05	50,53	35,8	2,52	1,79
	Кабель АВВГ-4х35	км	0,01	94,76	40	0,94	0,4
	Кабель АВВГ-4х50	км	0,01	102,31	49,1	1,02	0,49
	Кабель АВВГ-4х70	км	0,035	179,91	55,2	6,29	1,93
<b>Итого по цеху, тыс. руб</b>						<b>944,1</b>	<b>172,4</b>

Полная стоимость затрат на разработку проекта, оборудование и монтаж

$$K = K_{\text{пр}} + K_{\text{об}} + K_{\text{монт}} = 516033,65 + 944,1 + 172,4 = 517150,15 \text{ руб}$$

## **Заключение**

В ходе данной работы было рассчитано электроснабжение электротехнического завода г. Казань с детальной проработкой механического цеха.

Нагрузка механического цеха была рассчитана методом упорядоченных диаграмм, остальных цехов и предприятия в целом методом коэффициента спроса.

Была рассчитана осветительная нагрузка предприятия по удельной плотности осветительной нагрузки и также учтен СД 10 кВ и потери электроэнергии в линиях и трансформаторах при определении суммарной мощности предприятия на высокой стороне ГПП.

Произведен расчет центра электрических нагрузок, однако установить ГПП было вынуждено со смещением из-за недостатка места на территории.

Питание завода выполнено двухцепной воздушной линией 35 кВ длиной 7 км. проводом марки АС 35/6,2. На ГПП установлено 2 трансформатора ТМ-3200/35. На территории завода 5 цеховых трансформаторных подстанций (четыре двухтрансформаторных и одна однострансформаторная) с трансформаторами ТМ-630/10.

Питание цеховых ТП осуществляется кабельными линиями марки АПвП проложенными в траншеях. Питание приемников внутри цеха – кабелем марки АВВГ проложенными в лотках.

Произведен расчет токов короткого замыкания в сети до и выше 1000В, выбраны автоматические выключатели, построена карта селективности действия аппаратов защиты.

По результатам построения эпюр отклонения напряжения было установлено, что оно не превышает максимально допустимых 5%.